Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 5, Dec.-Jan. 2021, p. 613-625

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۵، آذر – دی ۱۴۰۰، ص. ۶۲۵-۶۱۳

مقاله پژوهشی

تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تولید و انتقال رسوبات آبی معلق با استفاده از آزمون گاما و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

ابوالفضل مساعدی[1]*- الیاس رمضانی پور[2]- منصور مصداقی[3]- مریم تاج‌بخشیان[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

چکیده

امروزه فرسایش‌خاک و انتقال رسوبات حاصل از فرسایش علاوه بر کاهش کمیت و کیفیت منابع آب و خاک، مشکلات اقتصادی و اجتماعی زیادی را پدید آورده است. در این پژوهش از آمار رسوب معلق ۱۵ حوضه آبخیز با میانگین مساحت ۱۷۵/۵۶ کیلومتر مربع، میانگین ارتفاع ۲۰۸۹ متر از سطح دریا، میانگین بارش سالیانه ۲۶۲ میلی‌متر و میانگین دبی سالیانه ۰/۵۸ متر مکعب در ثانیه در محدوده شهرستان‌های مشهد و نیشابور به منظور تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در تولید رسوب و انتقال آن، با استفاده از روش‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و آزمون گاما (GT) استفاده شد. نتایج حاصل از روش اول نشان داد که پنج مؤلفه اول بیش از ۹۰ درصد تغییرات ایجاد شده را توجیه می‌کنند، و مساحت حوضه و شیب ناخالص آبراهه اصلی از مؤلفه اول، میانگین دبی سالیانه و ضریب پیچان‌رودی آبراهه اصلی از مؤلفه دوم و تراکم زهکشی آبراهه از مؤلفه سوم، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تولید رسوب معلق می‌باشند. درصد حضور هر یک از ۱۲ متغیر مورد بررسی در میان نود ترکیب برتر براساس آزمون گاما نشان داد که پنج پارامتر میانگین دبی سالیانه، طول آبراهه اصلی، مساحت حوضه، میانگین بارش سالیانه و درصد رخنمون سنگ‌های حساس به فرسایش با مجموع ۶۳ درصد حضور در معادلات پیشنهادی به عنوان مهم‌ترین عوامل موثر بر تولید و انتقال رسوب معلق هستند. در نتیجه اگر هدف تهیه مدلی با بیشترین دقت برآورد رسوب معلق باشد، مدل ۱۲ متغیره حاصل از آزمون گاما، و در صورتی‌که هدف تهیه مدلی با کم‌ترین متغیر ورودی باشد، مدل ۵ متغیره حاصل از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به منظور برآورد رسوبات آبی معلق پیشنهاد می‌گردد. علاوه بر این، اگر هدف تهیه مدلی با کم‌ترین متغیر ورودی و دسترسی و محاسبه راحت آن‌ها و برآورد اولیه رسوبات معلق باشد، مدل دو متغیره (بر اساس عوامل مساحت حوضه و شیب ناخالص آبراهه اصلی) حاصل از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آزمون گاما، بارش سالیانه، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، رسوب معلق

مقدمه

امروزه فرسایش‌خاک و انتقال رسوبات حاصل از فرسایش، ضمن محدودسازی منابع آب و خاک، مشکلات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی زیادی را پدید آورده است. از طرفی انتقال رسوب توسط رودخانه‌ها مشکلاتی از قبیل پر شدن مخازن سدها، تغییر در مسیر رودخانه‌ها یا کاهش ظرفیت حمل آن‌ها، تخریب تأسیسات مسیر رودخانه‌ها، کاهش کیفیت آب و اختلال در آبزی‌پروری را در پی دارد (۶، ۱۵ و ۲۷). به این منظور، یافتن روش‌ها و مدل‌های مناسب برای برآورد واقعی‌تر میزان رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز با هدف کنترل فرسایش و برنامه‌ریزی در استفاده از منابع آب و خاک امری ضروری است (۹). به دلیل محدودیت‌های مختلف نظیر کافی نبودن ایستگاه‌های هیدرومتری و مشکل جمع‌آوری داده‌های رسوب معلق، اطلاعات مشاهده‌ای در این زمینه در سطح جهان تا کنون در حد وسیع و فراگیری ارائه نشده‌اند (۲۲). از طرفی تجهیز کلیه حوضه‌ها به وسایل اندازه‌گیری و برداشت مداوم و منظم نمونه‌ها نه تنها از نظر عملی ممکن نیست بلکه این امر مستلزم صرف هزینه و زمان بسیار

۱- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mosaedi@um.ac.ir)
۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آبخیزداری و استاد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
DOI: 10.22067/JSW.2021.14112.0

زیاد می‌باشد. از این‌رو، انتخاب روش‌هایی برای برآورد علمی و دقیق تولید رسوب در حوضه‌های کشور به منظور کنترل این فرآیند از الزامات محسوب می‌شود (۲۵).

رسوب‌دهی حوضه‌ها، ناشی از عوامل آب و هوایی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، خصوصیات فیزیوگرافی و کاربری اراضی حوضه بالادست است (۵، ۱۸، ۲۳، ۱ و ۲۶). در راستای تعیین مهم‌ترین عوامل موثر بر رسوب معلق استفاده از دو روش تجزیه به مولفه‌های اصلی[1] (۱۷ و ۲۴) و آزمون گاما[2] (۱۷، ۱۹ و ۲۰) در پژوهش‌های متعددی انجام شده است. بینا و همکاران (۴) با استفاده از دو روش مذکور، مساحت و شیب حوضه را به عنوان مهم‌ترین عوامل موثر در رسوب‌دهی حوضه آبریز رودخانه کرخه معرفی کردند. زارع چاهوکی و همکاران (۲۸) مدل‌سازی منطقه‌ای منحنی تداوم جریان را برای تعدادی از حوضه‌های آبخیز واقع در مناطق خشک ارائه نمودند. ایشان با استفاده از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی، به ترتیب چهار عامل مساحت حوضه، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی و بارندگی متوسط حوضه را به عنوان عوامل مهم در مدل خود معرفی نمودند. ژانگ و همکاران (۲۹) به بررسی چگونگی تولید رسوب در شرایط مختلف بارندگی و ویژگی‌های ژئومورفولوژیک نظیر مشخصات ارتفاعی، وضعیت شکل و شبکه آبراهه‌های حوضه آبخیز لائوس پلاتای چین پرداختند. ایشان از ترکیب روش تجزیه به مولفه‌های اصلی، رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون چندمتغیره برای پیش‌بینی رسوب معلق استفاده نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که به ترتیب عوامل شکل حوضه، ضریب پیچان‌رودی رودخانه، طول آبراهه اصلی حوضه، مشخصات ارتفاعی، وضعیت بارندگی و شیب تأثیرات زیادی بر رسوب‌دهی حوضه دارند.

پس از تعیین مهم‌ترین عوامل موثر بر رسوب معلق، تهیه مدل‌های مناسب برآورد آن از اهمیت خاصی برخوردار است (۱۲). به عنوان نمونه، خیرفام و وفاخواه (۱۳) داده‌های رسوب اندازه‌گیری‌شده در محدوده ۴۲ ایستگاه هیدرومتری جنوب و جنوب شرقی دریای خزر را با دوره‌های آماری بیش از ۲۰ سال مورد بررسی قرار دادند. ایشان با استفاده از آزمون گاما، ۱۴ متغیر موثر بر تولید رسوب را به ۵ متغیر اصلی کاهش دادند و ایستگاه‌های مذکور را با استفاده از منحنی‌های اندرو در ۴ گروه همگن طبقه‌بندی نمودند. سپس برای هر گروه همگن و برای کل ایستگاه‌ها با ۵ عامل اصلی انتخاب شده، مدل رگرسیونی برای تخمین میزان متوسط رسوب معلق سالانه را تهیه نمودند. در نهایت از نمایه‌های آماری خطای نسبی[3] و جذر میانگین مربعات خطا[4] برای ارزیابی مدل‌ها استفاده نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که مدل‌های گروه همگن نسبت به مدل واحد برای تمام ایستگاه‌هادارای دقت مناسب و از اعتبار بالاتری برخوردار هستند.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل نبود پوشش گیاهی متراکم و وقوع بارش‌های رگباری کوتاه مدت که در اغلب موارد منجر به ایجاد سیلاب و حجم بالایی از رواناب می‌شود انتظار می‌رود تولید رسوبات معلق حاصل از فرسایش خاک و سنگ بالا باشد (۲). با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه نیز دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، پیش‌بینی می‌شود در اثر وقوع بارندگی و فرسایش آبی ناشی از آن، حجم قابل توجهی از رسوبات وارد آب‌های جاری شوند که پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی مانند از دست رفتن حاصلخیزی خاک و کاهش بازده تولیدات کشاورزی، کاهش کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی به علت ورود رسوبات معلق و مواد محلول همراه آن‌ها و آسیب به حیات جانوری و گیاهی را در پی دارد. بنابراین، شناخت عواملی که در میزان رسوب معلق حاصل از فرسایش سنگ و خاک موثر می‌باشند، راهکار بسیار موثری در حفظ محیط زیست و ارائه برنامه‌های مدون جهت کاهش اثرات مخرب تولید بالای رسوبات معلق محسوب می‌شود. علاوه بر این، علیرغم اینکه در سطح جهانی و یا در مطالعات انجام شده بر روی حوضه‌های آبخیز ایران به کاربرد روش‌هایی مانند تجزیه به مولفه‌های اصلی و یا آزمون گاما در تعیین مهم‌ترین عوامل موثر بر تولید رسوب اشاره شده است، اما در پژوهش حاضر از آمار و اطلاعات ۱۵ ایستگاه هیدرومتری استفاده شده است که می‌تواند دقت نتایج حاصل را افزایش دهد. از طرفی، در حوضه‌های مورد مطالعه تا کنون از روش‌های آماری مانند تجزیه به مولفه‌های اصلی و یا آزمون گاما برای شناخت مهم‌ترین عواملی که می‌توانند بر روی تولید رسوب موثر باشند، استفاده نشده است. بر این اساس، هدف از انجام این پژوهش بررسی و شناخت مهم‌ترین عوامل اقلیمی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و هیدولوژیکی در تولید و انتقال رسوبات آبی معلق بر اساس دو روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و آزمون گاما در تعدادی از حوضه‌های آبخیز شمال شرقی کشور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه متشکل از ۱۵ حوضه آبخیز است که بر اساس تقسیمات وزارت نیرو در محدوده‌های مطالعاتی مشهد و نیشابور (شمال شرق کشور) واقع شده‌اند. موقعیت دو محدوده مطالعاتی مشهد و نیشابور، در حد فاصل مختصات جغرافیایی ۵۸ درجه و ۱۲ دقیقه و ۱۳ ثانیه تا ۶۰ درجه و ۷ دقیقه و ۳۱ ثانیه طول شرقی، و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه و ۳ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۳ دقیقه و ۴

1- Principal component analysis (PCA)
2- Gamma test (GT)
3- Relative error (RE)
4- Root mean square errors (RMSE)

ثانیه عرض شمالی واقع شـده اسـت (شـکل ۱). مجمـوع وسـعت دو محدوده‌ی مشهد و نیشابور معـادل ۱۷۲۳۸ کیلـومتر مربـع مـی‌باشـد. داده‌های مربوط به بارش، دبی جریان و غلظـت رسـوبات آبـی معلـق درطی چند سال و برخی از آمار مورد نیـاز آن‌هـا در طـول یـک دوره آماری مناسب در منطقه مورد مطالعه قابل دسترسی است. در جدول ۱ مختصات جغرافیایی، نام و کد محدوده ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه به اختصار ارائـه شـده اسـت و شـکل ۱ نیـز نقشـه موقعیـت محدوده‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

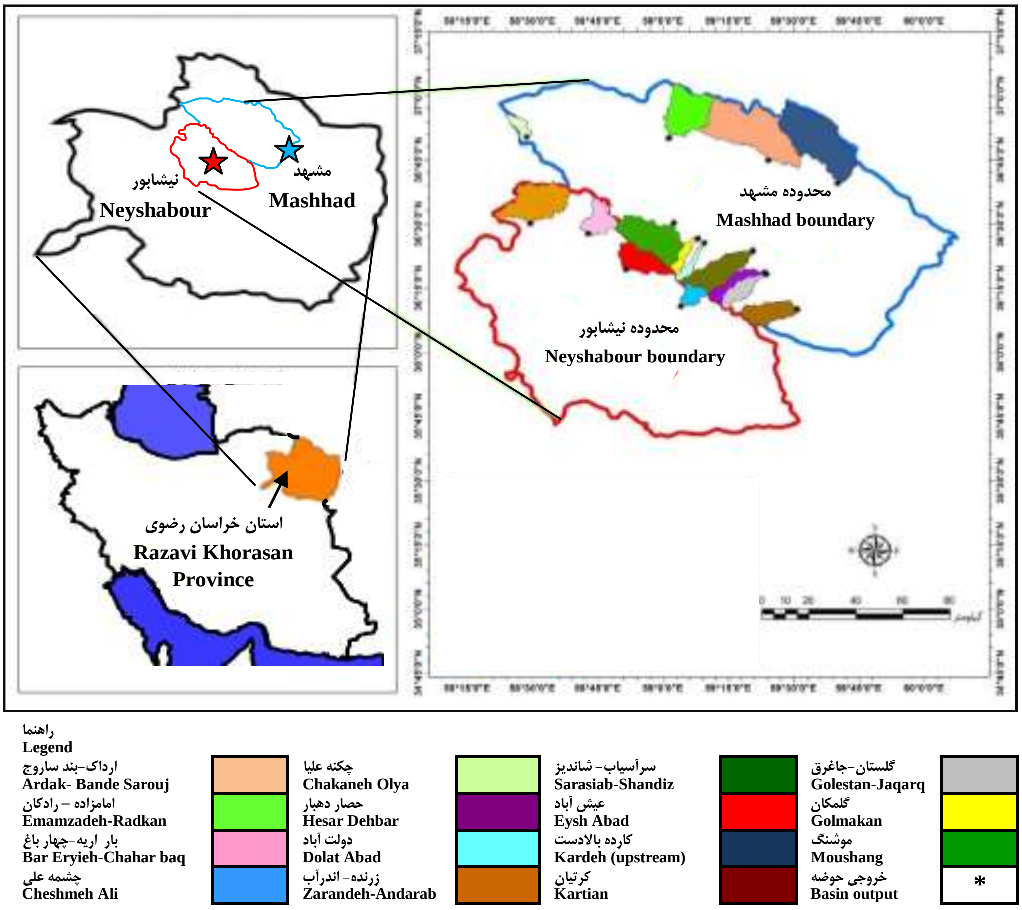
روش کار

در این پژوهش، ابتدا تمامی داده‌های اندازه‌گیری شده دبـی جریـان و غلظت رسوبات آبی معلق (که در بعضی از روزهای سال انـدازه‌گیـری شده‌اند) و همچنین مقادیر دبی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری مـورد مطالعه (جدول ۱) از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی اخذ گردید. علاوه بر این، آمار بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعـه، نقشـه‌هـای زمین‌شناسـی، توپـوگرافی و فیزیـوگرافی مـورد نیـاز کـه بـه صـورت لایه‌های مختلف و قابل استفاده در نرم‌افـزار Arc GIS10.3 موجـود بود، توسط این شرکت فراهم شـد. بـه منظـور تعیـین دوره مشـترک آماری، پس از ترسیم بارگراف دوره آماری مربـوط بـه رسـوب معلـق، دبی جریان روزانه و بارندگی سالیانه و همچنین کنترل نسـبی کفایـت داده‌ها، ایستگاه‌هایی که از طول دوره آماری طولانی برخوردار بـوده و کم‌ترین نقص آماری را داشتند، انتخاب شدند.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1- Geographical location of study stations

نام ایستگاه Station name	عرض جغرافیایی Latitude: درجه Degree	دقیقه Minute	ثانیه Second	طول جغرافیایی Longitude: درجه Degree	دقیقه Minute	ثانیه Second	کد محدوده مطالعاتی Study area code	نام محدوده مطالعاتی Study area name
ارداک-بند ساروج Ardak- Bande Sarouj	36	44	59	59	24	8	60	مشهد Mashhad
امامزاده – رادکان Emamzadeh-Radkan	36	50	11	59	1	13	60	مشهد Mashhad
بار اریه-چهار باغ Bar Eryieh-Chahar baq	36	27	50	58	42	43	47	نیشابور Neyshabour
چشمه علی Cheshmeh Ali	36	11	27	59	4	27	47	نیشابور Neyshabour
چکنه علیا Chakaneh Olya	36	50	24	58	28	39	60	مشهد Mashhad
حصار دهبار Hesar Dehbar	36	18	27	59	24	0	60	مشهد Mashhad
دولت آباد Dolat Abad	36	25	38	59	9	٢٧	60	مشهد Mashhad
زرنده- اندرآب Zarandeh-Andarab	36	28	42	58	29	٤٦	47	نیشابور Neyshabour
سرآسیاب- شاندیز Sarasiab-Shandiz	36	23	58	59	20	37	60	مشهد Mashhad
عیش آباد Eysh Abad	36	19	22	58	51	25	47	نیشابور Neyshabour
کارده بالادست Kardeh (upstream)	36	39	35	59	39	58	60	مشهد Mashhad
کرتیان Kartian	36	10	17	59	30	42	60	مشهد Mashhad
گلستان-جاغرق Golestan-Jaqarq	36	18	53	59	24	4	60	مشهد Mashhad
گلمکان Golmakan	36	26	36	59	7	59	60	مشهد Mashhad
موشنگ Moushang	36	30	20	59	2	27	60	مشهد Mashhad



شکل ۱- موقعیت حوضه‌های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

Figure 1- Location of the study basins in Khorasan Razavi Province

در این پژوهش به منظور بررسی درستی و همگنی داده‌ها، از روش آزمون توالی یا دنباله‌ها استفاده شد و کیفیت داده‌های موجود کنترل گردید (۳). به منظور تعیین داده‌های پرت از آزمون گروبز–بک استفاده شد (۳). برای نشان‌دادن این موضوع که چه عواملی بار رسوبی را در محدوده‌های مورد بررسی کنترل می‌کنند، ابتدا آزمون نرمال بودن بر روی متغیرها انجام شد، زیرا نرمال بودن و استاندارد نمودن داده‌ها در استفاده بهینه از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و مدل‌سازی ضروری می‌باشد. با توجه به نرمال نبودن متغیر وابسته رسوب معلق با استفاده از عمل لگاریتم طبیعی این متغیر به یک متغیر با توزیع نرمال تبدیل شد.

پس از اینکه عوامل موثر بر تولید رسوب به صورت اولیه تعیین شدند، عواملی که تاثیر بیش‌تری در تولید رسوب معلق داشتند، انتخاب شدند. به این منظور در این پژوهش دو روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و آزمون گاما به عنوان روش‌هایی که موثرترین عوامل بر یک پدیده را شناسایی می‌نمایند، مورد استفاده قرار گرفتند (۱۷، ۱۹ و ۲۰). قبل از اجرای آزمون گاما و تجزیه به مولفه‌های اصلی، ماتریس همبستگی برای عوامل مستقل تشکیل گردید، تا بدین منظور آن دسته از عواملی که با یکدیگر همبستگی بالایی (بیش از ۰/۹) دارند، مورد بررسی بیش‌تر قرار گیرند (۱۶). در این راستا از بین هر دو عاملی که با یکدیگر همبستگی قوی داشتند یکی از آن‌ها که بر اساس نظرات کارشناسی، شواهد و سوابق پیشین مهم‌تر به نظر می‌رسید، حفظ و دیگری از لیست عوامل انتخابی برای مدل نهایی کنار گذاشته شد. این امر به این علت انجام گردید که عواملی که همبستگی قوی با یکدیگر دارند و می‌توانند باعث ایجاد تورم واریانس در مدل نهایی شوند، در محاسبات وارد نشوند (۱۶).

یکی از روش‌های آماری چند متغیره برای کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرهای اولیه مسئله، در مواردی که حجم زیادی از داده‌ها وجود دارد، روش تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌باشد. با اعمال این روش، متغیرهای اولیه به مؤلفه‌هایی جدید که بدون همبستگی می‌باشند، تبدیل می‌شوند و مؤلفه‌های جدید ایجاد شده، ترکیبی خطی از متغیرهای اولیه هستند. در این روش به جای استفاده مستقیم از متغیرهای اولیه، ابتدا آن‌ها را به مولفه‌هایی تبدیل کرده و سپس از تعدادی از اجزاء این مولفه‌ها به جای متغیرهای اولیه استفاده می‌گردد (۸ و ۱۰). یکی از روش‌های انتخاب متغیرهای مناسب برای اجرای

تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده از ماتریس همبستگی بین متغیرها است و توصیه می‌شود که متغیرهایی که با متغیرهای دیگر همبستگی کمی دارند از تحلیل حذف گردند (۱۴).

در روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر اساس معادله ۱، هر یک از سری داده‌های ورودی به نحوی استاندارد شدند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک باشند.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (۱)$$

که در این رابطه Z: معادل استاندارد شده متغیر مورد نظر، X: مقدار متغیر، μ: میانگین متغیر مورد بررسی و σ: مقدار انحراف معیار متغیر مورد بررسی می‌باشد.

ماتریس همبستگی، ماتریسی متقارن با بعد $P*P$ است (P: تعداد متغیرهای مورد بررسی است) که عضوهای روی قطر اصلی این ماتریس، واریانس متغیرهای ورودی و بقیه درایه‌های این ماتریس، کوواریانس بین متغیرهای ورودی است. این ماتریس، به ماتریس واریانس- کوواریانس معروف می‌باشد و میزان تغییرات در نمونه و میزان همبستگی P متغیر را با هم نشان می‌دهد. به همین دلیل این ماتریس، معادل ماتریس همبستگی بین متغیرهای ورودی است. با توجه به اینکه برای تشکیل این ماتریس از داده‌های استاندارد شده استفاده شده است، بنابراین درایه‌های روی قطر اصلی در تمامی این ماتریس‌ها یک می‌باشد و درایه‌های غیرقطری کوواریانس بین متغیرهای ورودی است. برای محاسبه مقادیر ویژه λ و بردارهای ویژه از ماتریس همبستگی استفاده می‌شود.

هر مقدار ویژه با اطلاعات مربوط به آن (بردارهای ویژه) ویژگی‌های یک مؤلفه را می‌دهد. هر مؤلفه نیز درصدی از اطلاعاتی که توسط متغیرهای اولیه بیان می‌شود را در بر می‌گیرد. هر چه کمیت عددی مقادیر ویژه بزرگ‌تر باشد، بیانگر این است که مولفه متناظر با آن نیز درصد بیش‌تری از اطلاعات متغیرهای اولیه را شامل می‌گردد. هر مولفه، ترکیبی خطی از متغیرهای اولیه می‌باشد و با رابطه ۲ مشخص می‌شود:

$$PC_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \ldots + a_{ip}x_p \quad (۲)$$

که در آن؛ PC_i: iامین مولفه مورد نظر، a_{ip}: iامین بردار ویژه متناظر با Pامین مؤلفه و x_p: Pامین متغیر اصلی می‌باشد (۱۰ و ۱۴). با انتخاب چند مولفه اصلی اول، سایر مولفه‌ها از محاسبات بعدی حذف می‌شوند و بنابراین باید دقت زیادی در انتخاب آستانه حذف نمود. اسکری پلات یکی از روش‌های تشخیص آستانه حذف می‌باشد که در آن مقادیر ویژه شماره مؤلفه‌ها رسم می‌شود. در این روش، مرز بین مؤلفه‌های اصلی و غیر اصلی محلی است که نمودار میل به افقی شدن می‌نماید؛ یعنی محلی که مقادیر ویژه در مقابل تغییر شماره مؤلفه، تغییر چندانی ننماید.

آزمون گاما یک ابزار مدل‌سازی غیرخطی است که به کمک آن می‌توان ترکیب مناسبی از متغیرهای ورودی برای مدل‌سازی داده‌های خروجی و تهیه یک مدل هموار را بررسی نمود. هنگامی که عوامل مؤثر بر پدیده‌ای به طور قابل ملاحظه‌ای زیاد باشد با استفاده از آزمون گاما می‌توان ترتیب میزان اهمیت متغیرهای ورودی و بهترین ترکیب از میان تمام ترکیب‌های ممکن را بدست آورد. همچنین با استفاده از آزمون M می‌توان تعداد داده‌های ورودی که مقدار گاما را به حالت پایدار برای ایجاد مدل هموار می‌رساند، تعیین نمود (۷). علاوه بر این، یک ابزار توسعه یافته برای تخمین میانگین مربعات خطای حاصل از مدل‌سازی پدیده‌های مختلف با استفاده از مجموعه داده‌های مشاهداتی از آن پدیده می‌باشد (۱۱ و ۲۱). فرض این آزمون این است که مجموعه داده‌های ورودی X_i و خروجی Y_i مشاهده شده از پدیده‌ای به صورت رابطه (۳) در اختیار باشد.

$$\{(X_i , Y_i),\ 1 \le i \le M\} \quad (۳)$$

در صورتی‌که با توجه به مجموعه ورودی X_i، خروجی Y_i بدست آید و M نشان‌دهنده تعداد سری مجموعه‌ی مشاهده شده از پدیده‌ی مورد بررسی باشد، آنگاه آزمون گاما با فرض عدم قطعیت و پذیرش مقادیر خطا در بدست آوردن خروجی از روی ورودی بخاطر پیچیدگی غیرخطی بودن پدیده‌های مدل‌سازی، این خطا را به صورت رابطه بین مجموعه داده‌های ورودی و خروجی با تابع f نشان می‌دهد (رابطه ۴).

$$Y = f(X_1, X_2, \ldots, X_m) + r \quad (۴)$$

که در آن f نمایان‌گر تابع همواری است که برای مدل‌سازی داده‌ها استفاده می‌شود و r نشان‌دهنده متغیر تصادفی است که برای نمایش خطا به‌کار می‌رود. با فرض اینکه میانگین توزیعی که r از آن پیروی می‌کند برابر صفر است (هر مقدار ثابت دیگر را نیز می‌توان برای میانگین تابع f در نظر گرفت) و فرض دیگر آن که واریانس خطا کران‌دار است، مدل فوق به مدلی با مشتقات جزئی درجه اول محدود می‌شود و آزمون گاما نشان‌دهنده‌ی آن بخش از واریانس داده‌های خروجی است که نمی‌تواند توسط مدل هموار، محاسبه شود.

آزمون گاما بر این اساس استوار است که اگر دو نقطه $\overline{x}_1$ و $\overline{x}_2$ نزدیک به هم در فضای ورودی باشند، باید دو نقطه $\overline{y}_1$ و $\overline{y}_2$ متناظر با آن‌ها نیز نزدیک به هم در فضای خروجی باشند، که عدم ایجاد این حالت سبب بروز خطا در مدل گاما تست می‌شود.

با ایجاد رابطه رگرسیون خطی بین p مجموعه‌ی (M(K), $\gamma\delta$M(K))، اطلاعات مفیدی مطابق رابطه ۵ به‌دست می‌آید:

$$\gamma = A\delta + \Gamma \quad (۵)$$

از روی خط رگرسیون بیان شده در رابطه ۵ می‌توان اطلاعات مفیدی به دست آورد؛ نخست آن که عرض از مبدأ این خط نشان‌دهنده‌ی مقدار آزمون گاما است که بیانگر آن بخش از واریانس داده‌های خروجی است که نمی‌تواند به وسیله‌ی مدل برآورد گردد.

دوم آن که شیب خط رگرسیون نشـان دهنـده‌ی پیچیـدگی بـیش‌تـر مدلی است که از روی مجموعه داده‌هـای ورودی و خروجـی سـاخته می‌شود و این شیب هرچه تندتر باشد نشان دهنده‌ی پیچیدگی بیشـتر مدل است (۱۱). یکی دیگر از معیارهای مهم کـه بـا اسـتفاده از ایـن آزمون می‌توان به‌دست آورد معیار بـدون بعـد V_{ratio} اسـت کـه دارای مقادیری در بازه‌ی ۰ و ۱ است و هرچه این مقدار به صفر نزدیـک‌تـر باشد، نمایان‌گر دقت بالای مدل برای یافتن خروجی‌هـای مطلـوب از ورودی‌ها است. در واقع اگر مقدار V_{ratio} از عدد یک کـم شـود مقـدار ضریب تبیین را نشان می‌دهد (۲۱). اگر فرض شـود N متغیـر ورودی برای پدیده‌ای مؤثر باشند، تعداد 2N-1 ترکیب معنی‌دار از متغیرهـای ورودی به‌وجود می‌آید. بنابراین هنگامی که عوامـل ورودی مـؤثر بـر پدیده‌ای به‌طور قابل ملاحظه‌ای زیاد باشد با اسـتفاده از آزمـون گامـا می‌توان ترتیب میزان اهمیت متغیرهای ورودی و بهترین ترکیب‌هـای ممکن را به‌دست آورد (۷).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از رسـم بـاروگراف آمـاری بـرای داده‌هـای غلظـت رسوب معلق، دبی جریان و بارش نشان داد که طـی سـال‌هـای آبـی ۱۳۶۳-۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۱ تقریبـا داده‌هـا دارای کـم‌تـرین نقـص می‌باشد و از این رو، در این پژوهش، این دوره به عنوان دوره مشترک آماری انتخاب گردید. همان‌گونه که بیان شد، آزمون داده‌ی پـرت بـا استفاده از رابطه گروبز-بک در مـورد داده‌هـای دبـی روزانـه و بـرای داده‌های دبی رسوب معلق انجام شد و داده‌های پرت بعد از شناسایی، مورد بررسی بیش‌تر قرار گرفتند. در نتیجه برخی از داده‌ها بـر اسـاس نظرات کارشناسی و همچنین شواهد آمار و ارقام موجود از قبیـل آمـار سیلاب و هیدروگراف روزانه حفظ و برخی دیگر از داده‌های پرت کـه اشتباه و غیرواقعی به نظر می‌رسیدند (بـا مقایسـه مقـادیر دبـی یـک ایستگاه با ایستگاه‌های مجاور، مقدار بارندگی منجر به رواناب، شـواهد تاریخی حوضه و تجربه کارشناسان یا ساکنین حوضه‌ها) حذف شدند.

با استفاده از روش تحلیل مولفه‌هـای اصـلی، ۱۲ عامـل مسـتقل مورد بررسی (جدول ۲)، به چند مولفه تبدیل شدند. به این ترتیب فقط با انتخاب مؤلفه‌هایی که بیش‌ترین تغییرات را نشان می‌دهنـد، تعـداد متغیرها کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از تحلیل مولفه‌های اصلی نشـان داد که پنج مولفه اول ۹۰/۰۵ درصـد تغییـرات ایجـاد شـده را توجیـه می‌کنند. بر اساس جدول ۲، متغیرها از پنج مولفه اول انتخاب شده‌انـد و مؤلفه‌های پنجم به بعد در نظر گرفته نشدند. مؤلفه‌های ۱ تـا ۵ بـه ترتیب ۳۳/۲۵، ۲۱/۵۹، ۱۱/۱۶،۶۰/۵۲و ۷/۰۷ درصـد واریـانس را بـه خود اختصاص می‌دهند. بنابراین دو مولفه اول و دوم بیش‌ترین تـأثیر را بر تغییرات تولید رسوب در حوضه‌های مورد مطالعه دارند.

با توجه به جدول ۳ متغیرهای مساحت حوضـه و شـیب ناخـالص آبراهه اصلی از مؤلفه اول بیش‌تـرین همبسـتگی را بـا تولیـد رسـوب معلق دارند. در بین عوامل مولفه دوم، میانگین دبی سـالیانه و ضـریب پیچان‌رودی آبراهه به عنوان مهم‌ترین عامل مـؤثر بـر تولیـد رسـوب شناخته شدند. بنابراین، عوامل مساحت حوضه و شیب ناخالص آبراهه اصلی از مولفه اول، میانگین دبی سالیانه و ضریب پیچان‌رودی آبراهه اصلی از مولفه دوم و تراکم زهکشی آبراهه از مولفه سوم نقش مهمی در تولید رسوب معلق دارند. در نتیجه از دو مولفه اول، از هر کـدام دو عامل، و از مولفه سوم یک عامل و در مجموع ۵ عامل، انتخاب شدند. بـه عبـارتی از مولفـه اول $X_۴$ و $X_۶$، مولفـه دوم $X_۲$ و $X_۸$ و مولفـه سوم $X_{۱۱}$ انتخاب گردید (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج حاصل از تحلیل مولفه‌های اصلی عوامل موثر بر تولید رسوب در منطقه مورد مطالعه
Table 2- Results of PCA of the effective factors on sediment yield in the study area

نام مؤلفه Component name	Statistical مقدار ویژه Spacial value	 درصد واریانس Variance (%)	 درصد واریانس تجمعی Accumulative variance (%)
مؤلفه اول First component	3.99	33.25	33.25
مؤلفه دوم Second component	2.59	21.59	54.84
مؤلفه سوم Third component	1.98	16.52	71.36
مؤلفه چهارم Fourth component	1.39	11.60	82.97
مؤلفه پنجم Fifth component	0.84	7.07	90.05

شکل ۲ رابطه عوامل با دو مولفه اصلی را نشان می‌دهد، که به دلیل تاثیر مشابه بعضی از متغیرها در مولفه‌های اول و دوم هم‌پوشانی زیادی بین این متغیرها به‌وجود می‌آید که تعیین مقادیر بردارهای ویژه آن‌ها از روی شکل عملاً غیر ممکن می‌شود، به همین دلیل در جدول ۳ مقادیر مربوط به بردارهای ویژه هر یک از پارامترهـا در مـورد هـر یـک از مؤلفه‌ها و هر یک از عوامل مورد بررسی ارائه شده است.

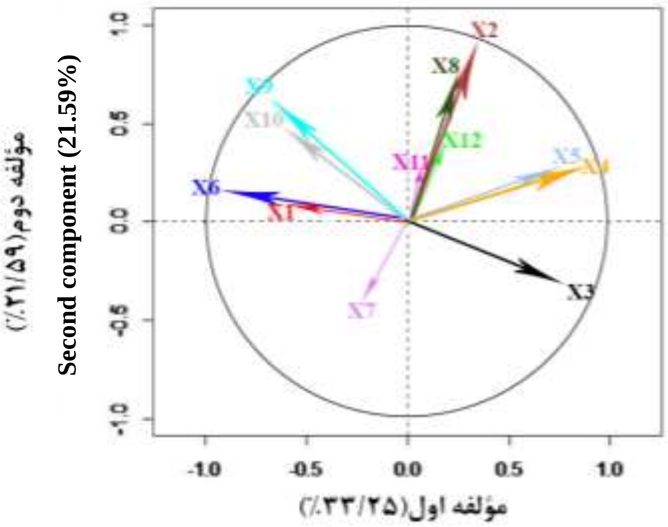
همان‌گونه که پیش از این اشاره شد، بـا اسـتفاده از آزمـون گامـا برای پیش پردازش عوامل می‌توان ترتیـب اهمیـت عوامـل ورودی و بهترین ترکیب از میان تمامی ترکیب‌های ممکـن را تعیـین نمـود. در این پژوهش از بـین ۱۵۰۰ ترکیـب پیشـنهاد شـده، ۹۰ ترکیـب برتـر پیشنهادی که با استفاده از آزمون گاما به‌دست آمد، مورد بررسی قـرار گرفت تا تاثیر هر عامل بر رسوب معلق مشـخص گـردد. در شـکل ۳ هیستوگرام مقادیر درصد حضور عوامل در ترکیبـات برتـر نشـان داده شده است. در این راستا به منظـور مشـخص نمـودن ترتیـب اهمیـت عوامل ورودی ابتدا آزمون گاما برای تمامی آن‌ها (۱۲ پـارامتر) انجـام شد و مقدار آماره گاما تعیین گردید. مقادیر به‌دست آمده گاما برای هر ترکیب پیشنهاد شده برای تمامی حالت‌ها مقایسه شد. نتایج نشان داد که با حذف پارامتر تاثیرگذار مقدار آماره گاما زیـاد و بـا حـذف عامـل کم‌تاثیر، مقدار این آماره کم می‌گردد.

با توجه به معادلات، حضور عوامل در مـدل بـا کـد یـک و عـدم حضور آن‌ها با کد صفر مشخص شد. مقادیر گاما، Gradiant و V_{ratio} مربوط به ۹۰ ترکیب برتر پیشـنهاد شـده توسـط آزمـون گامـا بـرای ایستگاه‌های هیدرومتری ارائه شد. مقادیر ناچیز گاما و V_{ratio} به‌دسـت آمده بیانگر دقت بالای مدل در یافتن خروجـی‌هـای مطلـوب از روی ورودی‌ها است. مقادیر زیاد Gradiant نشان دهنده‌ی پیچیـده بـودن مدل نهایی است، زیرا هرچه Gradiant کم‌تر باشـد پیچیـدگی مـدل کم‌تر و مدل مناسب‌تر خواهد بود. با توجـه بـه مقـادیر گامـا، عوامـل میانگین دبی سالیانه، مسـاحت حوضـه، ضـریب پیچـان‌رودی آبراهـه اصلی و ضریب انشعاب‌پذیری آبراهه‌ها مهم‌تـرین عوامـل مـی‌باشـند (مقدار گاما با حذف این عوامل نسبت بـه سـایر پارامترهـا زیـاد شـده است) و به همین ترتیب عوامل درصد سطح سنگ‌هـای حسـاس بـه فرسایش در حوضه، طول آبراهه اصلی، میانگین بارش سالیانه، ضریب گراویلیوس، شـیب متوسـط حوضـه، ارتفـاع متوسـط حوضـه، تـراکم زهکشی آبراهه‌ها و شیب ناخالص آبراهه اصلی در مرتبه‌هـای بعـدی اهمیت قرار دارند. مقادیر درصد حضـور هـر یـک از ۱۲ متغیـر مـورد بررسی در میان نود ترکیب برتـر معـادلات بـرآورد رسـوب معلـق در جدول ۴ و شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر مربوط به بردارهای ویژه هر یک از پارامترها در هر یک ازمؤلفه‌ها

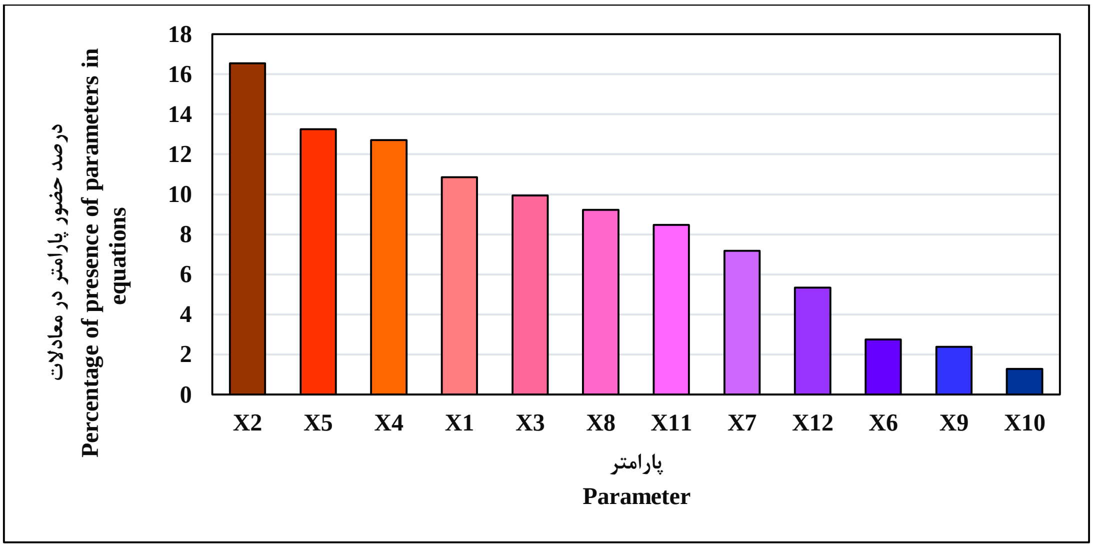
Table 3- The values for each parameter vectors in each component

نام متغیر Variable name	نماد Symbol	مؤلفه اول First component	مؤلفه دوم Second component	مؤلفه سوم Third component	مؤلفه چهارم Fourth component	مؤلفه پنجم Fifth component
میانگین بارش سالیانه Mean annual precipitation	$X_۱$	-0.48	0.08	-0.34	-0.25	0.68
میانگین دبی سالیانه Mean annual discharge	$X_۲$	.033	0.87	0.18	-0.08	0.005
درصد رخنمون سنگ‌های حساس به فرسایش Outcrop of erosion sensitive rocks (%)	$X_۳$	0.77	-0.32	0.48	-0.16	0.05
مساحت Area	$X_۴$	0.87	0.27	0.24	0.13	0.02
طول آبراهه اصلی Main chnnel lenght	$X_۵$	0.72	0.24	0.1	0.55	0.07
شیب ناخالص آبراهه اصلی Main channel gross slope	$X_۶$	-0.92	0.15	0.07	0.12	-0.26
ضریب گراویلیوس Gravilious coefficient	$X_۷$	-0.21	-0.38	0.18	0.71	0.17
ضریب پیچان‌رودی آبراهه اصلی Main channel meandering coefficient	$X_۸$	0.27	0.78	-0.1	-0.16	0.25
شیب متوسط حوضه Mean slope of basin	$X_۹$	-0.64	0.59	0.38	0.24	-0.13
ارتفاع متوسط حوضه Mean elevation of basin	$X_{۱۰}$	-0.59	0.46	0.59	0.06	0.13
تراکم زهکشی آبراهه Channel draining density	$X_{۱۱}$	0.06	0.21	-0.73	0.58	0.12
ضریب انشعاب پذیری آبراهه‌ها Channels branching coefficient	$X_{۱۲}$	0.17	0.42	-0.66	0.09	-0.4



شکل ۲- رابطه بین عوامل با دو مولفه اصلی

Figure 2- Relationship between factores and two major components



شکل ۳- درصد حضور پارامترها در ترکیبات پیشنهادی مدل‌ها

Figure 3- Percentage of presence of parameters in the suggested hybrids models

نتایج حاصل از جدول ۴ نشان می‌دهد که عوامل ارتفاع متوسط حوضه، شیب متوسط حوضه و شیب ناخالص آبراهه اصلی به ترتیب کم‌ترین حضور را در بین ترکیب‌های بهینه داشته‌اند. در نتیجه، این عوامل تاثیر کم‌تری در رسوب‌دهی حوضه داشته‌اند. از طرفی عوامل میانگین دبی سالیانه و طول آبراهه اصلی بیش‌ترین حضور و نیز بیش‌ترین تاثیر را در رسوب‌دهی در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از دو روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و آزمون گاما جهت تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تولید و انتقال رسوبات آبی معلق استفاده شد. براساس نتایج حاصل از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی، به ترتیب دو عامل مساحت حوضه و شیب ناخالص آبراهه اصلی به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مقدار رسوبات آبی معلق سالانه انتخاب شدند. بر اساس نتایج حاصل از آزمون گاما نیز ۱۲ متغیر اصلی و مؤثر بر رسوب معلق (رسوبات آبی معلق) شناسایی شده و تاثیر هرکدام بر رسوب معلق نیز مشخص شد.

جدول ۴- درصد حضور پارامترها در نود ترکیب برتر

Table 4- Percentage of presence of the parameters in the top ninety hybrids models

ردیف Row	پارامتر Parameter	نماد Symbol	درصد حضور Percentage of presence
1	میانگین بارش سالیانه Mean annual precipitation	$X_{۱}$	10.86
2	میانگین دبی سالیانه Mean annual discharge	$X_{۲}$	16.55
3	درصد رخنمون سنگ‌های حساس به فرسایش Outcrop of erosion sensitive rocks (%)	$X_{۳}$	9.94
4	مساحت Area	$X_{۴}$	12.71
5	طول آبراهه اصلی Main chnnel lenght	$X_{۵}$	13.26
6	شیب ناخالص آبراهه اصلی Main channel gross slope	$X_{۶}$	2.76
7	ضریب گراویلیوس Gravilious coefficient	$X_{۷}$	7.18
8	ضریب پیچان‌رودی آبراهه اصلی Main channel meandering coefficient	$X_{۸}$	9.22
9	شیب متوسط حوضه Mean slope of basin	$X_{۹}$	2.39
10	ارتفاع متوسط حوضه Mean elevation of basin	$X_{۱۰}$	1.29
11	تراکم زهکشی آبراهه Channel draining density	$X_{۱۱}$	8.47
12	ضریب انشعاب پذیری آبراهه‌ها Channels branching coefficient	$X_{۱۲}$	5.34

بر اساس مقایسه نتایج حاصل از دو روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و آزمون گاما می‌توان به این نتیجه رسید که چنانچه هدف از پژوهش و یا مطالعه تهیه مدلی با بالاترین دقت در برآورد رسوب معلق باشد، مدل ۱۲ متغیره حاصل از آزمون گاما شامل عواملی از قبیل فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، اقلیمی و هیدرولوژیکی پیشنهاد می‌گردد، ولی اگر تهیه مدلی با دقت مناسب و تعداد متغیر ورودی محدود مد نظر باشد، مدل ۵ متغییره حاصل از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی پیشنهاد می‌گردد. در عین حال اگر هدف تهیه مدلی با کم‌ترین متغیر ورودی و دسترسی و محاسبه آسان آنها و برآورد اولیه رسوبات معلق باشد، مدل دو متغیره (بر اساس عوامل مساحت حوضه و شیب ناخالص آبراهه اصلی) حاصل از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی پیشنهاد می‌گردد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر می‌توان به این نتیجه رسید که بررسی پارامترهای بیش‌تر زمینه‌های ارزیابی اهمیت آن‌ها در تولید رسوب را فراهم نموده است و در نهایت با توجه به همبستگی بسیاری از پارامترهای مورد بررسی با یکدیگر، تعداد محدودی پارامتر که اهمیت بیش‌تری در برآورد رسوب معلق دارند، انتخاب شده‌اند. افزایش دقت تهیه مدل رسوب به دلیل دستیابی به پارامترهایی مهم‌تر و مؤثرتر در تولید رسوب و شناسایی آن‌ها به منظور بررسی بهترین اقدامات مدیریتی رسوب در حوضه‌های آبخیز از دیگر یافته‌های این پژوهش است. پیشنهاد می‌شود که مشابه با این پژوهش در دیگر حوضه‌های آبخیز با شرایط متفاوت از نظر شرایط آب و هوایی، توپوگرافی، زمین‌شناسی و... انجام شود.

منابع

1. Adhami M., and Sadeghi S.H.R. 2016. Sub-watershed Prioritization based on sediment yield using game theory. Journal of Hydrological Processes S0022-1694(16): 30487-5.
2. Agnihotri D., Kumar T., and Jhariya D. 2020. Intelligent vulnerability prediction of soil erosion hazard in semi-arid and humid region. Environment, Development and Sustainability 23: 2524-2551.
3. Alizadeh A. 2019. Principles of Applied Hydrology. Astan Quds Razavi Pub., 41st ed., Mashhad. 941p. (In Persian)
4. Bina M., Ranjbaran L., and Mosavi Jahromi S.H. 2009.Estimation of suspended sediment using physiographic

parameters in the upstream basin of Karkheh. Proceedings of the 8th International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University, February 2009, Ahvaz, Iran. (In Persian)
5. Chuenchum P., Xu M., and Tang W. 2020. Predicted trends of soil erosion and sediment yield from fututre land use and climate change scenarios in the Lancang-Mekong River by using the modified RUSLE Model. International Soil and Water Conservation Research 8: 213-227.
6. Du M., Mu X., Zhao G., Gao P., and Sun W. 2021. Changes in runoff and sediment load and potential causes in the Malian River basin on the Loess Plateau. Sustainability 13: 130-145.
7. Ghabaei Sough M., Mosaedi A., Hessam M., and Hezarjaribi A. 2010. Evaluation of the effect of pre-processing of the input parameters of the artificial neural networks (ANNs) using stepwise regression and gamma test in order to obtain a quicker estimation of evapotranspiration. Journal of Water and Soil 3(24): 610-624. (In Persian with English abstract)
8. Helena B., Pardo R., Vega M., Barrado E., Fernandez J., and Fernandez M. 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. Water Research 34: 807-816.
9. Hajigholizadeh M., Melesse A.M., Hector R., and Fuentes H.R. 2018. Erosion and Sediment Transport Modelling in Shallow Waters: A Review on Approaches, Models and Applications. International Journal of Environmental Research and Public Health 15(3): 518 (24p).
10. Johnson R.A., and Wichern D.W. 1982. Applied multivariate statistical analysis. Prentice- Hall Inc., Englewood Cliffs, England. 590p.
11. Kemp SE., Wilson ID., and Ware JA. 2004. A tutorial on the gamma test. International Journal of Simulation 6 (1-2): 67–75
12. Kheirfam H., and Mokarram-Kashtiban S. 2018. A regional suspended load yield estimation model for ungauged watersheds. Water Science and Engineering 11(4): 328-337
13. Khyerfam H., and Vafakhah M. 2015. Evaluation of the gamma test and Andrew curves in order to estimate the amount of suspended sediment of the watersheds of the south and southeast of the Khazar Sea. Watershed Management Journal 6(11): 47-58. (In Persian with English abstract)
14. Liu C.W., Lin K.H., and Kuo Y.M. 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. Science of the Total Environment 313: 77-89.
15. Mazhar N., Mirza A.L., Abbas S., Akram M.A.N., Ali M., and Javid K. 2021. Effects of climatic factors on the sedimentation trends of Tarbela Reservoir, Pakistan. SN Applied Sciences 122: 300-315.
16. Mesdaghi M. 2011. Statistics and regression methods. Imam Reza University. Mashhad. (In Persian)
17. Mohammadi A.A., Yousefi M., Soltani J., Ahangar A.G., and Javan S. 2018. Using the combined model of gamma test and neuro-fuzzy system for modeling and estimating lead bonds in reservoir sediments. Environment Science Pollution Control Sereach 25(30): 315-324.
18. Mosaedi A., Mohammadi O.K. A., Najafinezhad A., and Yaghmaei F. 2006. Optimization of flow and suspended sediment discharge in selected stations of Gorganroud. Iranian Journal of Natural Resources 59(2): 331-342. (In Persian with English abstract)
19. Noori R., Karbassi A.R., Moghaddamnia A., Han D., Zokaei-Ashtiani M.H., Farokhnia A., and Gousheh M.G. 2011. Assessment of input variables determination on the SVM model performance using PCA, Gamma test, and forward selection techniques for monthly stream flow prediction. Journal of Hydrology 401(3): 177-189.
20. Rashidi S., Vafakhah M., Lafdani E.K., and Javadi M.R. 2016. Evaluating the support vector machine for suspended sediment load forecasting based on gamma test. Arabian Journal of Geoscience 9(11): 583.
21. Remesan R., Shamim M.A., and Han D. 2008. Model data selection using gamma test for daily solar radiation estimation. Journal of Hydrological Processes 22: 4301-4309.
22. Sadeghi S.H.R., Noor H., Fazli S., and Raesi M.B. 2011. Estimation of thunderstorm sediment based on rainfall and runoff parameters in research and education watershed of Tarbiat Modarres University. Journal of Soil and Water Science 21(2): 158-149. (In Persian with English abstract)
23. Shi Z. H., Huangb X. D., Ai L., Fang N.F., and Wu G.L. 2014. Quantitative analysis of factors controlling sediment yield in mountainous watersheds: Geomorphology 226: 193-201.
24. Shozugawa K., Kuno A., Matsuo M., and Sano Y. 2008. Estimation of the sources of pelagic sediments from the South Pacific Ocean to the Antarctic Ocean. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 278(2): 331-335.
25. Vahabzadeh G.H., Safari A.S., Farhodi M., Abdollahi H., Fathyzad H., and Khosravi G.H. 2014. Study of erosion and sediment delivery ratio in dirt and forest paths. Journal of Soil and Water Sciences-Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 18(70): 295-313. (In Persian with English abstract)
26. Wilkes M.A., Gittins J.R., Mathers K.L., Mason R., Casas-Mulet R., Vanzo D., Mckenzie M., Murray-Bligh J., England J., Gurnell A., and Jones J.I. 2018. Physical and biological controls on fine sediment transport and storage in rivers. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water 6(2): e1331 (21 pp.). Water 6:e1331. doi: 10.1002/wat2.1331
27. Yuana X.P., Braun J., Guerit L., Simon B., Bovy B., Rouby D., Robin C., and Jiao R. 2019. Linking continental erosion to marine sediment transport and deposition: A new implicit and O(N) method for inverse analysis, Earth

and Planetary Science Letters. 524-115728.
28. Zare Chahoki A., Salajeghe A., Mahdavi M., Khalighi Sigaroudi S.H., and Asadi M. 2013. Regional model of flow duration curve in watersheds with no statistics in arid areas, Iranian Journal of Natural Resource 66(2): 125-139. (In Persian with English abstract)
29. Zhang H.Y., Shi Z.H., Fang NF., and Gua M.H. 2015. Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China. Geomorphology 234(1): 19-27.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 5, Dec.-Jan. 2021, p. 613-625

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۵، آذر – دی ۱۴۰۰، ص. ۶۲۵-۶۱۳

Assessment the Effective Factors on Production and Transportation of Suspended Sediments using Gamma Test and PCA Techniques

A. Mosaedi[1]*– E. Ramezanipour [2]-M. Mesdaqi[3]– M. Tajbakhshian[4]
Received: 09-01-2020
Accepted: 25-09-2021

Introduction: Soil erosion and sediment transportation decrease water resources, and cause many social and economic problems. On the other hand, sediment transportation by rivers causes problems such as water quality degradation, reservoirs sedimentation, redirect of rivers, or decrease in their transportability. Therefore, finding the proper methods in sediment yield study in watersheds is essential in planning and management of land and water resources. Climatic characteristics, physiography, geology, and hydrology of basins are the most effective factors in producing and transporting sediments according to several sources, but the role and impact of some factors are more pronounced than the others in different areas. As a result, the objective of this study was to investigate and identify the most important climatic, physiographic, geological, and hydrological factors in several watersheds of the northeastern part of Iran, by applying Gamma Test (GT) and principal component analysis (PCA) techniques.

Materials and Methods: In this study, the data of discharge flow and suspended sediment concentration, and daily flow discharge recorded in 15 hydrometric stations in Mashhad and Neyshbour restricts and required maps were provided from the Regional Water Company of Khorasan Razavi, Iran. After drawing statistical bar graph period of suspended sediment, daily discharge, annual precipitation, and relatively adequate data, stations with the longest period and with the lowest deficit data were selected to determine the common statistical periods. Therefore, in this study, the time period of 1983-1984 to 2011-2012 was selected, and the run test was applied to control data quality and homogeneity. Then, the most effective factors of sediment yield were determined by principal component analysis (PCA) and Gamma Test (GT).

Results and Discussion: The results of the principal component analysis showed that 90 percent of the first five components justify the changes. Among the factors, area and gross gradient of the mainstream from the first component, the average annual flow rate of mainstream, meandering waterways of the mainstream from second component, and drainage density of third component were identified as the most important influencing factors on suspended sediment production. Ninety superior combinations of 1500 proposed combinations were obtained by Gamma Test to evaluate the effects of each parameter on suspended sediment yield. To determine the order of importance of the entered parameters, first, Gamma Test was performed on all 12 parameters. Gamma values of all cases for each proposed combination were compared. The results showed that the impact of these statistics was lowered by eliminating high gamma parameters and the removal of low values. The data analysis revealed that the low levels of gamma and high accuracy of ratio to find the desired outputs from entries. By lowering the gradient, the complexity of the model was lowered and more suitable model was provided. As a result, high levels of gradient represented the complexity of the final model. The results of the percentage values of each of the 12 variables were considered among the superior equations for estimating the suspended sediment composition. In this regard, the mean annual discharge, main channel length, area, average annual rainfall, and percentage of the outcrop of erosion sensitive rocks with a total of 63 percent of the proposed equations were the most important factors affecting the sediment yield in the study area. The average height parameter of area, the average and gross slope of the mainstream had the lowest presence among the optimized compounds.

Conclusion: Based on the results of the principal component analysis, the two factors of basin area and gross slope of the mainstream were selected as the most important factors affecting the amount of annual suspended sediment load, respectively. Based on the results of the Gamma Test, 12 main variables affecting suspended

1- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Water and Environment Research Institute, Ferdowsi Uinversity of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: mosaedi@um.ac.ir)
2 and 3- Former M.Sc. Student of Watershed Management and Professor, Faculty of Natural Resources and Environmental Sceince, Ferdowsi Uinversity of Mashhad, respectively.
4- Ph.D. Candidate, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi Uinversity of Mashhad
DOI: 10.22067/JSW.2021.14112.0

sediment load were identified and the effect of each of them on the production and transport of suspended sediment was determined. Based on the comparison of the results of the two methods of PCA and GT, it can be concluded that if the purpose of research or study is to prepare a model with the highest accuracy in estimating suspended sediment load, the 12-variable model of GT includes factors related to physiographical, geological, climatic and hydrological factors are suggested. However, if the preparation of a model with appropriate accuracy and a limited number of input variables is considered, a 5-variable model derived from the PCA method is proposed. At the same time, if the purpose is to prepare a model with the least input variables and their easy access and calculation and initial estimation of suspended sediments, a bivariate model (based on basin area and gross slope of the mainstream factors) resulting from PCA is proposed. According to the results of the present study, it can be concluded that the study of more parameters has provided grounds for evaluating their importance in sediment yield. Finally, due to the correlation of many parameters with each other, a limited number of parameters that have a more important role in suspended sediment estimation, were selected. Another finding of this study is the increase in the accuracy of the sediment model's preparation due to achieving more important and effective parameters in sediment yield and identifying them in order to investigate the best sediment management measures in watersheds. It is suggested that similar research should be done in other watersheds with different conditions in terms of climatic conditions, topography, geology, and so on.

Keywords: Annual rainfall, Gamma test, Principal component analysis, Suspended sediment